

УДК 553.31

ГИДРОТЕРМАЛЬНАЯ МАРГАНЦЕВАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ НА РУДНОМ ПОЛЕ “ПЕТЕРБУРГСКОЕ” (СЕВЕРНАЯ АТЛАНТИКА)

© 2014 г. Г. Н. Батури¹, И. Г. Добрецова², В. Т. Дубинчук³¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва²Полярная морская геологическая экспедиция, Санкт-Петербург³Всероссийский институт минерального сырья им. Н.П. Федоровского, Москва
e-mail: gbatu@ocean.ru

Поступила в редакцию 01.10.2012 г.

В пределах гидротермального поля “Петербургское”, расположенного на восточном фланге Срединно-Атлантического хребта, на глубине 3 км обнаружены марганцевые корки, перекрытые слоем пелагического карбонатного осадка. Корки представляют собой плитчатые хрупкие породы толщиной 1–5 см, сложенные неоднородным, местами пористым черным материалом. Преобладающая часть вещества корок сложена параллельно ориентированными агрегатами пластинчатых частиц толщиной от нескольких мкм до 0.2 мм. Основным минералом корок является полнокристаллический бернессит при наличии незначительного количества коллоидного вернадита. В основном химическом составе корок доминирует марганец (более 60% MnO) при низком содержании оксида железа (1.7%) и повышенном относительно среднего состава гидротермальных корок содержании натрия и серы. Для микроэлементного состава корок характерно повышенное содержание молибдена, умеренное содержание галлия и урана и резко пониженное содержание прочих сорока исследованных микроэлементов. Сопоставление полученных результатов с литературными данными показывает, что исследованные корки сильно отличаются от предложенного ранее среднего состава гидротермальных корок, но близки к некоторым гидротермальным коркам с подводных вулканов Японского моря.

DOI: 10.7868/S0030157414020026

Железомарганцевые корки на дне океанов широко распространены на поверхности подводных гор и, в меньшей степени, на поверхности глубоководных осадков. Данные об условиях их залегания, морфологии и составе приводятся в многочисленных публикациях, включая обзорные статьи и монографии [1, 2, 5, 6, 8, 9, 11–15, 18–22, 24–26, 28–31].

Несмотря на значительную изменчивость состава этих образований, их разделяют на две группы: гидrogenные и гидротермальные корки, формирующиеся соответственно либо путем медленного осаждения металлов из морской воды, либо за счет относительно быстрого выпадения из гидротермальных растворов, поступающих в океан в зонах повышенной тектонической и вулканической активности.

В связи с тем, что наряду с марганцем корки в той или иной мере обогащены также рядом других металлов, они представляют интерес и в плане металлогении океана, и как потенциальные рудные ресурсы, состав и генезис которых трактуется неоднозначно, что побуждает продолжать исследование новых находок этих образований в различных районах Мирового океана.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Нами исследован представительный образец корки из драги, принесшей около 12 кг материала в 8-м рейсе научно-поискового судна ПМГЭ “Логачев” (2010 г.) в ходе исследования гидротермального поля “Петербургское”, расположенного на западном склоне Срединно-Атлантического хребта. Драгирование дна выполнено на станции 34-Л105. Глубина дна – 3033 м. Координаты начала драгирования – 19°52.33' с.ш., 45°52.465' з.д., окончания драгирования – 19°52.383' с.ш., 45°52.785' з.д.

Всего поднято около 10 кг обломков корок размером 5–25 см в поперечнике толщиной до 15 см. Исследованный типовой образец представляет собой плитку размером 8 × 6 и толщиной 5–6 см (рис. 1).

На той же станции подняты обломки сцементированного фораминиферового осадка, распространенного в пределах рассматриваемого участка дна.

Характерной особенностью рудного поля “Петербургское” является то, что рудные постройки перекрыты известковым фораминиферовым осадком и лишь частично обнажены, выступая над поверхностью дна.



Рис. 1. Внешний вид гидротермальной корки.

Следует также отметить, что рудное поле “Петербургское” локализовано за пределами ложа рифтовой долины — на второй рифтовой гряде западного фланга Срединно-Атлантического хребта, то есть за пределами рифтовой долины как таковой.

Микроструктура и минеральный состав материала исследовались в ВИМС с применением сканирующего и просвечивающего электронных микроскопов по методикам, описанным в работе [8]. Для определения параметров кристаллической решетки минералов в слабо уплотненном материале использовались специально изготовленные суспензионные препараты [8].

Элементный состав определялся методом ИСП-МС в ИПТМ РАН под руководством В.К. Карандашева. Содержание кремнезема определено Е.О. Золотых (ИО РАН) микрохимическим методом, содержание ртути — Н.А. Лобусом (ИО РАН) рентгено-флуоресцентным методом на анализаторе РА-915 с приставкой ПИРО-915.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Морфология и минеральный состав корок. Корки представляют собой хрупкий ноздреватый материал, в котором местами присутствуют бурые прослойки минерализованного карбонатного осадка.

В минеральном составе корок доминирует бернессит, образующий параллельно ориентированные сростки таблитчатых кристаллов (рис. 2а).

При больших увеличениях видно, что крупные блоки состоят из плотно упакованных удлиненных частиц толщиной 2–4 мкм, в составе которых, судя по микрондовому анализу, доминирует марганец с подчиненным количеством кальция, железа, серы, хлора и незначительной примесью кремнезема, алюминия, титана и калия (рис. 2б, 2в), что позволило установить две разновидности бернессита с несколько различными базальными отражениями (рис. 3а, 3б).

Вернадит, который, в отличие от бернессита, не обладает четко выраженной морфологией, встречается лишь в единичных препаратах в виде колломорфных или слабо кристаллизованных агрегатов (рис. 4).

Элементный состав корок. При рассмотрении геохимии коркового материала целесообразно привести в целях сопоставления также состав некоторых близких по элементному составу образований, которыми являются, в частности, марганцевые корки со дна Японского моря, изучавшиеся нами и другими исследователями ранее [2, 6, 15, 19, 20, 22, 23]. Наряду с этим следует также учитывать оценку среднего состава гидротермальных железомарганцевых корок океана, предложенную авторами работы [1].

Результаты анализа основного химического состава корки (табл. 1) показывают, что доминирующим компонентом являются оксиды марганца (более 60%) при крайне низком содержании оксидов железа (1.7%). Среди прочих компонен-

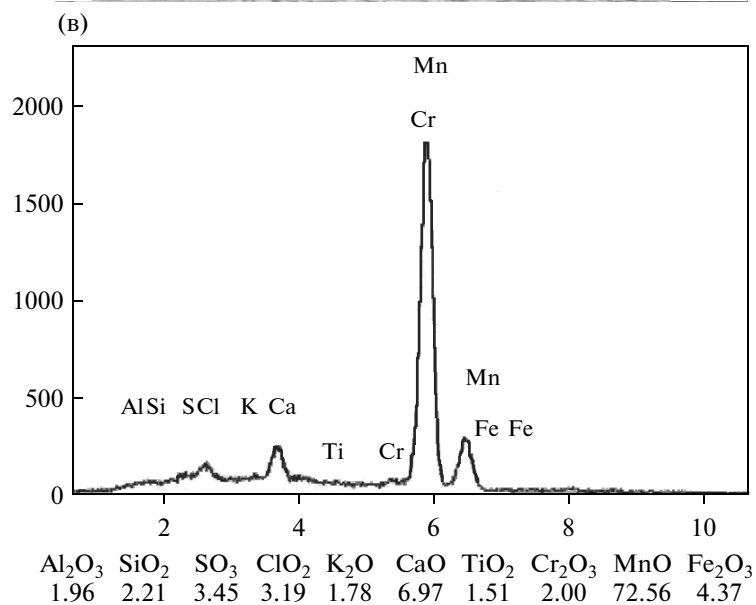
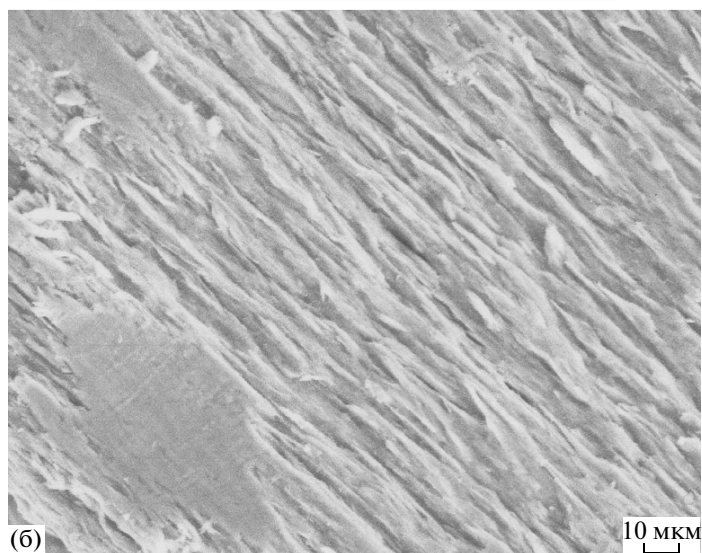
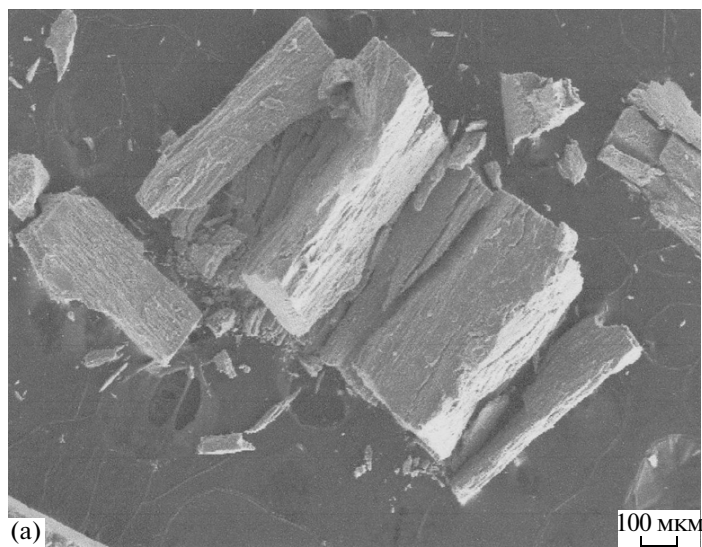


Рис. 2. Морфология кристаллических агрегатов бернезита под сканирующим электронным микроскопом. (а) – крупноблочные агрегаты, (б) – тонкопластинчатые агрегаты, (в) – энергодисперсионный спектр состава минерала.

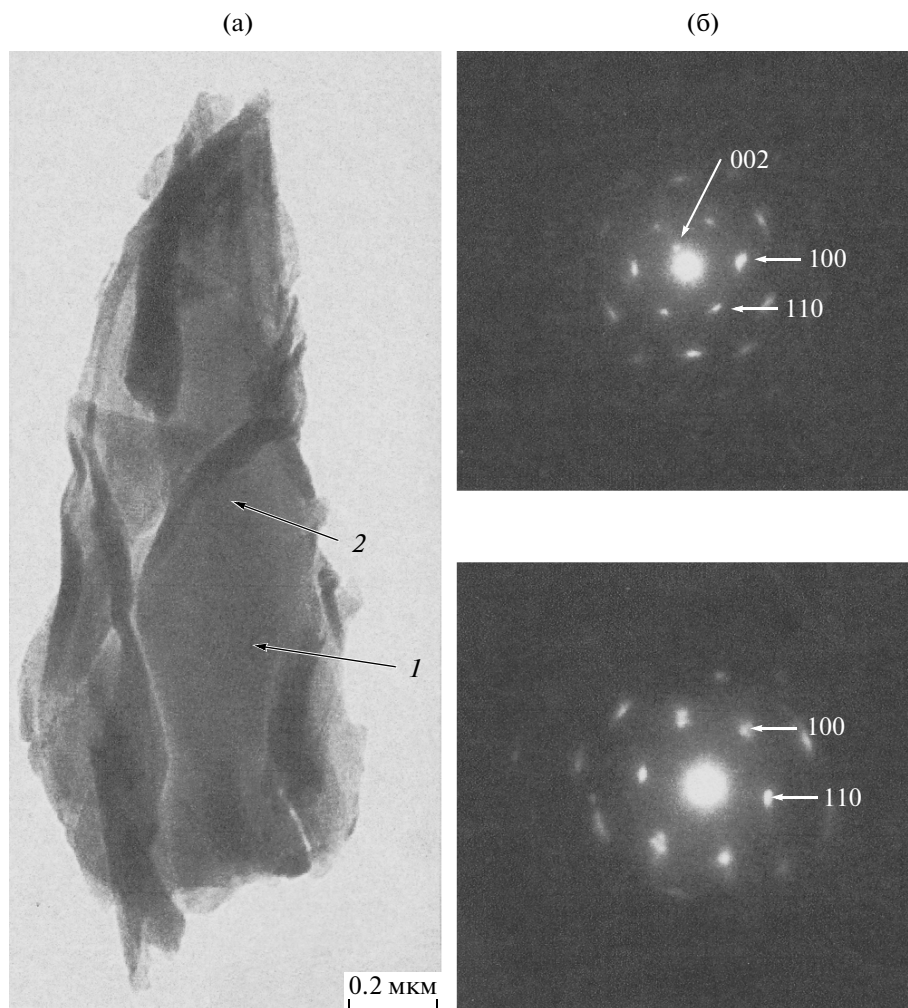


Рис. 3. (а) – Частица бернессита, выделенная из суспензионного препарата под просвечивающим электронным микроскопом, (б) – микродифракционные картины бернессита с двух участков, отмеченных стрелками.

тов макросостава выделяются только CaO (3.1%) и Na₂O (4.1%), в то время как доля всех прочих компонентов незначительна.

При рассмотрении микроэлементного состава корки (табл. 2), оказывается, что наиболее распространенным микроэлементом является молибден (1242 г/т), за которым следуют барий (331 г/т), стронций (285 г/т), медь (260 г/т) и литий (213 г/т). К числу элементов, содержание которых находится в пределах 29–71 г/т, относятся Ni, Zn, V, Ga. Далее следует группа микроэлементов, содержание которых находится в диапазоне 0.9–10 г/т: Sb, U, Tl, Cr, Sr, Zr, Y, Cd, Sn, Pb, W. Содержание всех прочих фигурирующих в табл. 3 микроэлементов составляет десятые и сотые доли г/т. В их числе Ag, Be, Bi, Cs, Hf, Hg, Nb, Re, Sc, Se, Ta, Te и Th.

Редкоземельные элементы (РЗЭ), рассматриваемые обычно как особая группа микроэлементов, в исследованной рудной породе не накапливаются (табл. 3). Содержание наиболее распространенного из них, церия, составляет 2 г/т, а наименее рас-

пространенного – лутеция – 0.019 г/т, при суммарном содержании всех РЗЭ 7.211 г/т.

Основными характеристиками состава РЗЭ являются величины цериевой и европиевой аномалий, рассчитываемые как отношение содержания церия и европия к полусумме содержаний двух соседних РЗЭ – соответственно La+Pr (цериевая аномалия) и Sm+Gd (европиевая аномалия); при этом содержание всех участвующих в расчете РЗЭ нормализуют по среднему их содержанию в сланцах [3, 17].

Расчет показывает, что составу РЗЭ рассматриваемого образца присуща значительная отрицательная цериевая аномалия и практически отсутствует европиевая аномалия.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Данные о месте находки корок в пределах гидротермального поля, состав материала и его соотношение с вмещающим осадком явно свидетель-

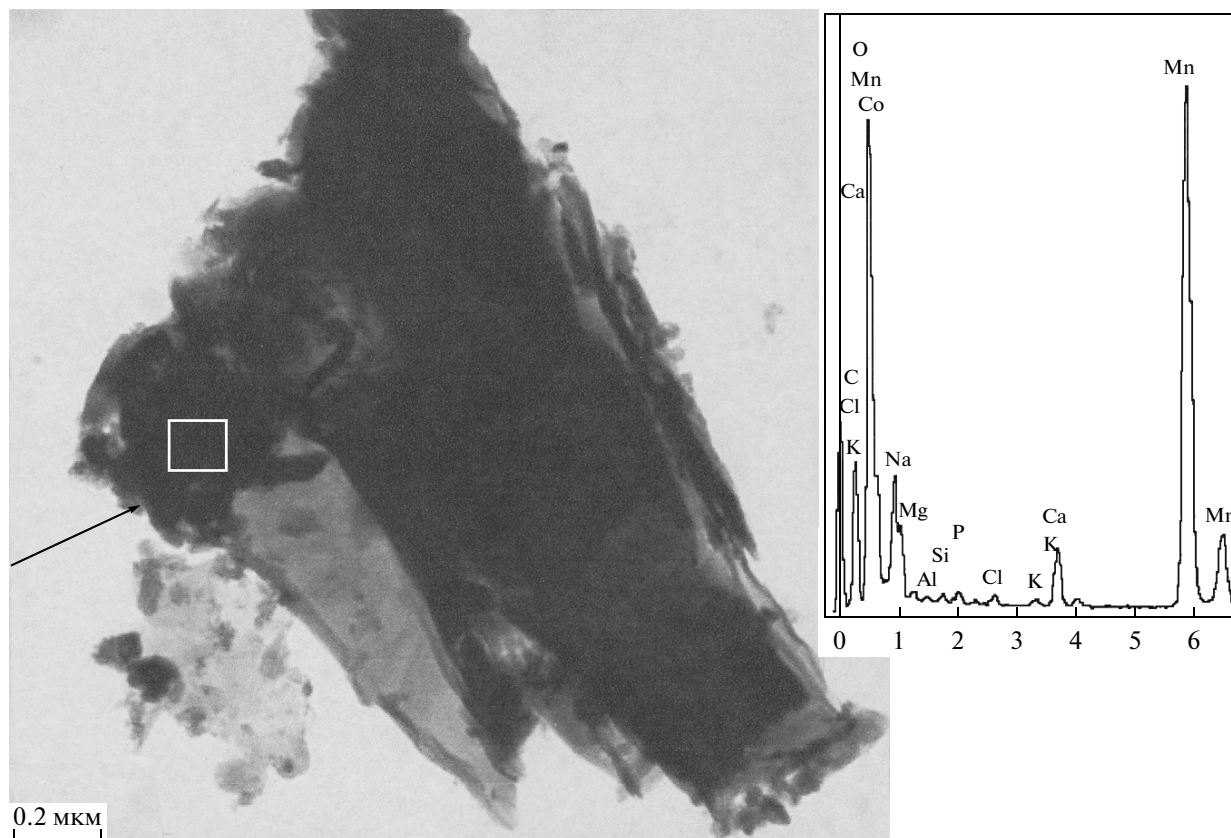


Рис. 4. Агрегат пластинчатых кристаллов бернессита под просвечивающим электронным микроскопом. Справа – энергодисперсионный спектр частицы вернадита, отмеченной квадратом.

ствуют о его гидротермальной природе, подобно многим другим рудопроявлениям в различных районах океана [4, 5, 11, 13, 16].

В тех случаях, когда такое удачное сочетание обстоятельств отсутствует, вопрос о генезисе железомарганцевых образований на дне океана пытаются решить путем использования геохимических

критериев, включая содержания и соотношения элементов-индикаторов. Полученные результаты позволяют рассмотреть, насколько эти критерии надежны в данном конкретном случае.

В связи с этим целесообразно сопоставить состав исследованного образца с составом явно гидротермальных корок с подводных вулканов

Таблица 1. Основной химический состав корок (%)

Компонент	Корка с рудного поля “Петербургское” (Сев. Атлантика)	Корка с подводного вулкана в Японском море [6]	Среднее в гидротермальных корках Мирового океана [1]
MnO	61.7	53.8	16.65
Fe ₂ O ₃	1.7	0.9	11.77
SiO ₂	0.8	6.0	17.49
Al ₂ O ₃	0.21	1.4	4.98
TiO ₂	0.0087	0.046	0.54
CaO	3.1	4.1	5.40
MgO	1.2	1.4	2.63
Na ₂ O	4.1	5.1	2.36
K ₂ O	0.48	0.66	1.93
P ₂ O ₅	0.031	0.029	2.41
S _{общ}	0.23	0.17	0.01

Таблица 2. Микроэлементный состав корок, г/т

Элемент	Корка с рудного поля “Петербургское”	Корка с подводного вулк. Япон. моря [6]	Среднее в корках Мирового океана [1]
Ag	0.093	<0.05	0.77
As	17.5	21.8	100
Ba	331	375	1200
Be	0.032	0.43	2.4
Bi	0.011	0.057	10.2
Cd	2.48	0.52	6.9
Co	5.9	35.0	700
Cr	4.7	14.6	100
Cs	<0.1	0.9	4.8
Cu	260	20.6	800
Ga	28.8	312	11.7
Hf	<0.03	0.61	8.6
Hg	0.008	0.19	0.22
Li	213	563	800
Mo	1242	303	400
Nb	0.28	2.2	54
Ni	70.8	39.4	2000
Pb	0.91	7.2	500
Rb	2.8	13.4	23.6
Sb	9.1	5.8	17
Sc	<0.8	1.6	11.5
Sn	1.6	0.35	6.9
Sr	285	306	800
Ta	0.16	0.16	—
Th	0.089	1.5	11
Tl	6.1	0.43	29.4
U	8.4	1.2	5.6
V	50.8	73	400
W	1.0	106	100
Y	2.5	7.7	121
Zn	71.3	31	500
Zr	3.0	22.8	400

Японского моря [5] и со средним составом гидротермальных корок Мирового океана согласно данным, приведенным в работе [1] (табл. 1–3).

Рассмотрение основного химического состава материала свидетельствует о чрезвычайной близости содержаний всех макроэлементов в гидротермальных корках рудного поля “Петербургское” и гидротермальных корках с подводного вулкана в Японском море. Данные по среднему составу гидротермальных корок всего океана существенно иные, включая: близкие содержания марганца и железа (при заниженном содержании первого и повышенном – второго); высокие содержания кремния, алюминия, титана, магния, калия, фосфора; низкие содержания натрия и серы.

Что касается микроэлементов, то в этом плане установлены различия, с одной стороны, между рассмотренными корками из Атлантического океана и Японского моря, а с другой стороны – между этими двумя объектами и средними значениями для всего океана.

Рассматриваемые корки из Атлантического океана в той или иной мере обеднены относительно гидротермальных япономорских корок бериллием, висмутом, кобальтом, хромом, цезием, гафнием, ртутью, ниобием, свинцом, рубидием, скандием, торием, вольфрамом, иттрием и цирконием, но обогащены кадмием, медью, молибденом, оловом, таллием, ураном и цинком.

Таблица 3. Редкоземельные элементы в корках, г/т

Элемент	Корка с рудного поля	Корка с подводного вулкана [5]	Среднее в гидротерм корках [1]
La	1.7	8.3	133.7
Ce	2.0	20.4	239.18
Pr	0.36	1.8	20.00
Nd	1.6	7.8	103.65
Sm	0.34	1.6	21.64
Eu	0.078	0.30	5.75
Gd	0.36	1.7	21.77
Tb	0.049	0.25	9.72
Dy	0.29	1.4	17.92
Ho	0.062	0.3	3.62
Er	0.18	0.84	12.03
Tm	0.023	0.13	1.77
Yb	0.15	0.88	13.22
Lu	0.019	0.14	1.43
Σ TR	7.211	45.84	605.05
Ce*	0.57	1.12	0.97
Eu*	0.97	0.73	1.15

Примечание. Ce* и Eu* – величины цериевой и европиевой аномалий.

Близкие или идентичные содержания установлены для бария, стронция, мышьяка, лития, никеля, сурьмы, тантала и ванадия.

Про сопоставлении со средним составом гидротермальных корок океана (по данным [1]) выясняется, что гидротермальные корки и с рудного поля “Петербургское”, и с подводного вулкана Японского моря значительно обеднены большинством рассматриваемых микроэлементов, включая барий, стронций, серебро, бериллий, висмут, кадмий, кобальт, хром, цезий, медь, гафний, ниобий, никель, свинец, рубидий, сурьму, скандий, олово, торий, таллий, ванадий, иттрий, цинк и цирконий (см. табл. 2).

Что касается РЗЭ (табл. 3), то в этом случае наблюдается их минимальное содержание в корке с рудного поля “Петербургское”, более высокое (в 4 и более раз) в корке из Японского моря и максимальное (на порядок выше предыдущего) – в гидротермальных корках Мирового океана. При этом величина цериевой аномалии минимальна в атлантической корке (0.57) и максимальна в япономорской корке (1.12), а величина европиевой аномалии минимальна в япономорской (0.73), нейтральна в атлантической (0.97) и максимальна в “среднеокеанской” гидротермальной корке (1.15).

Приведенные результаты, а также многочисленные данные по составу железомарганцевых и преимущественно марганцевых корок в зонах вулканогенно-гидротермальной активности [5, 9, 19, 28–32] показывают, что некоторые предлагавшиеся ранее критерии идентификации гидротермального генезиса рудных образований на дне

океана не являются незыблемыми и не всегда согласуются с локальной геологической ситуацией.

К числу явлений, которые в гидротермальных образованиях в одних случаях проявляются, а в других отсутствуют, относятся следующие (табл. 4):

1. Специфический состав марганцевых минералов, а именно преобладание или по крайней мере присутствие тодорокита, на что указывали в свое время авторы работы [25], а затем [12] и многих других. Но в нашем случае тодорокит не обнаружен и преобладающим минералом является бернесит, которому сопутствует незначительное количество слабо кристаллизованного вернадита.

2. Высокие значения отношений Mn/Fe и (Mn + Fe)/Ti [23]. Оба эти коэффициента высоки в корках из Северной Атлантики и Японского моря и много слабее – в “среднеокеанской” корке [1]. Соответственно, величины первого из этих соотношений составляют 40–66–1.43, а второго – 9427–1548–53.

3. Относительное обогащение гидротермального материала ртутью [32], содержание которой в нашем материале, напротив, понижено (0.008 г/т).

4. Пониженное содержание РЗЭ. В нашем материале оно действительно почти на два порядка ниже, чем в гидротермальных железомарганцевых корках океана – соответственно 7.211 и 605 г/т.

5. Отрицательная цериевая аномалия, которая является также показателем глубоководности [17]. Действительно, в рассматриваемом образце она выражена рельефно (0.57), в отличие от положительной величины (1.12) в гидротермальной

Таблица 4. Индикаторы гидротермального воздействия на состав корок

Параметр	Корка с рудного поля в Северной Атлантике	Корка с подводного вулкана в Японском море [6]	Среднее в гидротермальных корках океана по данным [1]
Mn/Fe	40.2	66	1.43
(Mn+Fe)/Ti	9427	1548	52.6
Hg, г/т	0.008	0.19	0.22
Σ TR, г/т	7.211	45.84	605.05
Ce*	0.57	1.12	0.97
Eu*	0.97	0.73	1.15
Ga, г/т	28.8	312	11.7
Ga/Ti	4.38	725	0.39

корке из Японского моря [6] и нейтральной величины (0.97) в океанских корках по данным [1].

6. Положительная европиевая аномалия в составе РЗЭ [7, 17]. Что касается этой аномалии, то здесь ситуация противоположна предыдущей. В рассматриваемой корке эта величина нейтральна (0.97), в япономорской корке слабо отрицательна (0.73) и в океанских корках положительна (1.15).

7. Повышенное содержание галлия, проявляющееся локально [6, 20], а также высокое отношение Ga/Ti [6]. В исследованной корке эти параметры невысоки (28.8 и 4.78), в корках океана в целом – минимальны (11.7 и 0.39), а в корке из Японского моря максимальны (312 и 725).

Как видим, минералогический критерий разграничения гидротермальных и гидротермальных корок по наличию или отсутствию тодорокита не является универсальным.

Что касается геохимических критериев, то предложенная в свое время Страховым [24] оценка гидротермального характера железомарганцевых образований по повышенным отношениям Mn/Fe и (Mn + Fe)/Ti сохраняет свое значение. Все прочие рассмотренные выше показатели проявляются в той или иной мере локально.

В связи с этим при оценке влияния гидротермального фактора на состав железомарганцевых образований следует, по мере возможности, учитывать наряду с общей геологической обстановкой весь доступный комплекс минералогических и геохимических показателей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные данные о составе марганцевой корки с гидротермального поля “Петербургское” демонстрируют особый тип происходящего, на фоне пелагического карбонатакопления, марганцеворудного процесса. Особенности этого процесса являются: преимущественно бернесситовый состав марганцеворудной массы, повышенное содержание молибдена при низком содержании прочих цветных металлов и редкоземельных элементов, а также отсутствие в их составе положительной европиевой аномалии.

Наиболее близким геохимическим аналогом этого типа минерализации является марганцеворудный процесс на некоторых подводных вулканах Японского моря, протекающий в иной по сравнению с описанной выше геологической обстановке.

Элементный состав этих двух сравниваемых рудопроявлений существенно отличается от средних величин, предложенных ранее для гидротермальных корок всего океана [1], что относится к содержанию породообразующих, рудных и редких элементов.

Минералогические и геохимические индикаторы, используемые для оценки влияния гидротермальной поставки рудного вещества корок, не являются универсальными и проявляются локально, за исключением, видимо, предложенных Страховым железомарганцевого и титанового модулей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аникеева Л.И., Казакова В.Е.* Геохимия кобальтбогатых Fe-Mn корок // Кобальтбогатые руды Мирового океана. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2002. С. 59–91.
2. *Астахова Н.В.* Аутигенные образования в позднекайнозойских отложениях окраинных морей востока Азии. Владивосток: Дальнаука, 2007. 244 с.
3. *Балашиов Ю.А.* Геохимия редкоземельных элементов. М.: Наука, 1976. 268 с.
4. *Батури Г.Н.* Глубоководные рудные осадки гидротермального генезиса // История Мирового океана. М.: Наука, 1971. С. 259–277.
5. *Батури Г.Н.* Руды океана. М.: Наука, 1986. 304 с.
6. *Батури Г.Н.* Геохимия железомарганцевых корок Японского моря // Докл. РАН. 2012. Т. 445. № 2. С. 179–184.
7. *Батури Г.Н., Дмитриев Л.В., Гурвич Е.Г.* Европиевая аномалия в сульфидных рудах океана // Докл. РАН. 1987. Т. 296. № 1. С. 207–210.
8. *Батури Г.Н., Дубинчук В.Т.* Микроструктуры железомарганцевых конкреций океана. Атлас микрофотографий. М.: Наука, 1989. 288 с.
9. *Батури Г.Н., Дубинчук В.Т., Рашидов В.А.* Особенности распределения микроэлементов в железомарганцевых корках со дна Охотского моря // Докл. РАН. 2011. Т. 440. № 2. С. 213–219.
10. *Батури Г.Н., Коченов А.В., Тримонис Э.С.* О составе и происхождении железорудных осадков и горя-

- чих рассолов в Красном море // Океанология. 1969. Т. 9. № 3. С. 442–451.
11. Богданов Ю.А., Лисицын А.П., Сагалевиц А.М., Гурвич Е.Г. Гидротермальный рудогенез океанского дна. М.: Наука, 2006. 527 с.
 12. Вареницов И.М., Дриц В.А., Горшков А.И. Процессы формирования Mn-Fe корок в Атлантике: Минералогия, геохимия главных и рассеянных элементов, подводная гора Крылова // Генезис осадков и фундаментальные проблемы литологии / Под ред. Холодова В.Н. М.: Наука, 1989. С. 58–77.
 13. Габлина И.Ф., Добрецова И.Г., Попова В.А. Метасоматическое редкометальное оруденение в современных осадках Срединно-Атлантического хребта // Геология морей и океанов. Матер. XIX Междун. научной конф. по морской геологии. М.: ГЕОС, 2011. Т. 2. С. 153–157.
 14. Гайоты Западной Пацифики и их рудонность / Под ред. Говорова И.Н., Батурина Г.Н. М.: Наука, 1995. 368 с.
 15. Горшков А.И., Березовская В.В., Батулин Г.Н., Сивцов А.В. Природа железомарганцевых корок с подводных гор Японского моря // Океанология. 1992. Т. 32. № 3. С. 542–549.
 16. Давыдов М.П., Судариков С.М., Колосов О.В. Самоходные металлы и интерметаллические соединения в осадках и взвешах гидротермально-активных сегментов Восточно-Тихоокеанского поднятия // Литология и полезн. ископаемые. 1998. № 1. С. 17–22.
 17. Дубинин А.В. Геохимия редкоземельных элементов в океане. М.: Наука, 2006. 360 с.
 18. Мельников М.Е. Месторождения кобальтоносных железомарганцевых корок. Геленджик: Южморгеология, 2005. 230 с.
 19. Михайлик П.Е. Состав, строение и условия формирования железомарганцевых корок Японского и Охотского морей. Автореф. кандидат. дис. ДВГИ, 2009. 22 с.
 20. Михайлик П.Е., Ханчук А.И. Железомарганцевые корки с подводных вулканов задуговых бассейнов – новый генетический тип месторождений галлия // Докл. РАН. 2011. Т. 439. № 4. С. 520–522.
 21. Русаков В.Ю., Шилов В.В., Рыженко Б.И. и др. Основные черты структуры гидротермально-осадочного разреза на примере рудного узла “Семенов” (13°30′–13°33′ с.ш. Срединно-Атлантический хребет) // Геология морей и океанов. Материалы XIX Междун. школы морской геологии. М.: ГЕОС, 2011. Т. 2. С. 186–190.
 22. Скорнякова Н.С., Батулин Г.Н., Гурвич Е.Г. и др. Железомарганцевые корки и конкреции Японского моря // Докл. РАН. 1987. Т. 293. № 2. С. 430–434.
 23. Страхов Н.М. Проблемы геохимии современного океанского литогенеза. М.: Наука, 1976. 299 с.
 24. Успенская Т.Ю., Горшков А.И., Гавриленко А.И., Стрижов Г.И. Железомарганцевые корки и конкреции с Курильской островной дуги. Структура, состав и генезис // Литология и полезн. ископаемые. 1990. № 3. С. 330–338.
 25. Burns R.G., Burns V.M. Manganese oxides // Marine Minerals. Mineral Soc. of America. Short Course Notes. 1979. V. 6. P. 1–46.
 26. Davidov M.P. Geochemistry of Fe-Mn deposits of the rift zone of the Northern pre-equatorial section of the MAR: a comparative study. Minerals of the Ocean integrated strategies – 2 // Intern. Confer. St. Petersburg: VNIIOkeangeologia, 2004. P. 129–130.
 27. Gromet L.P., Dymek R.F., Haskin L.A., Korotev R.L. The North American Shale Composite: Its compilation, major and trace element characteristics // Geochim. et cosmochim. acta. 1984. V. 48. № 12. P. 2469–2482.
 28. Hein J.R., Koshinsky A., Halbach P. et al. Iron and manganese oxide mineralization in the Pacific // Manganese Mineralization: Geochemistry and Mineralogy of Terrestrial and Marine Deposits. Geol. Soc. Spec. Publ. 1997. № 119. P. 123–138.
 29. Hot Brines and Recent Heavy Metal Deposits in the Red Sea / Eds. Degens E.T., Ross D.A. N.Y.: Springer, 1969. 600 p.
 30. Nath B.N., Pluger W.L., Roelandts L. Geochemical constraints on the hydrothermal origin of ferromanganese encrustations from the Rodriguez Triple Junction, Indian Ocean // Manganese Mineralization: Geochemistry and Mineralogy of Terrestrial and Marine Deposits. Geol. Soc. Spec. Publ. 1997. № 119. P. 199–211.
 31. Toth J.R. Deposition of ferromanganese crusts rich in manganese and iron // Geol. Soc. Amer. Bull. 1980. V. 91. P. 44–54.
 32. Usui A., Someya M. Distribution and composition of marine hydrothermal manganese deposits in the Northern Pacific // Manganese Mineralization: Geochemistry and Mineralogy of Terrestrial and Marine Deposits. Geol. Soc. London Spec. Publ. 1997. P. 177–198.

Hydrothermal Manganese Mineralization in the Ore Field “Peterbourgskoye” (Northern Atlantic)

G. N. Baturin, I. G. Dobretsova, V. T. Dubinchuk

The manganese crust covered by pelagic calcareous sediment was recovered from 3 km depth inside the ore field “Peterbourgskoye” situated on the eastern flank of the Mid Atlantic Ridge. The crust looks as aggregate of platy friable plates 1 to 5 cm thick made of black heterogeneous and partly porous material. The inner structure consists of aggregated parallel micro-plaits several micrometers thick consistent of well crystallized birnessite with minor admixture of colloform vernadite. The chemical composition of crust is dominated by manganese (above 60% MnO) with minor iron (1.7% Fe₂O₃) and somewhat notable sodium and sulfur. The trace elemental composition is characterized by very high molybdenum, moderate gallium and uranium and very low others 40 trace elements under consideration. When compared with previous publications, the composition of this crust is fairly different from average values offered earlier for hydrothermal crusts, but from other side in rather near to some crusts recovered from subsea volcanoes in the Sea of Japan.